



**Application de l'étude de la matière organique à
l'analyse de l'érosion : exemple du bassin versant du
Moulin, dans les terres noires des
Alpes-de-Haute-Provence (France) Determination of
eroded geological formations using organic matter
characterization (Moulin basin,
Alpes-de-Haute-Provence, France).**

Christian Di Giovanni, Jean-Robert Disnar, Jean-Paul Bakyono, Didier
Kéravis, François Millet, Jean-Emmanuel Olivier

► **To cite this version:**

Christian Di Giovanni, Jean-Robert Disnar, Jean-Paul Bakyono, Didier Kéravis, François Millet, et al.. Application de l'étude de la matière organique à l'analyse de l'érosion : exemple du bassin versant du Moulin, dans les terres noires des Alpes-de-Haute-Provence (France) Determination of eroded geological formations using organic matter characterization (Moulin basin, Alpes-de-Haute-Provence, France).. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de la Terre et des Planètes, 2000, 331 (331), pp.1, 7-14. 10.1016/S1251-8050(00)01384-7 . hal-00115387

HAL Id: hal-00115387

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00115387>

Submitted on 21 Nov 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application de l'étude de la matière organique à l'analyse de l'érosion : exemple du bassin versant du Moulin, dans les terres noires des Alpes-de-Haute-Provence (France)

Determination of eroded geological formations using organic matter characterization (Moulin basin, Alpes-de-Haute-Provence, France).

Christian Di-Giovanni^a, Jean-Robert Disnar^b, Jean-Paul Bakyono^a, Didier Kéravis^b, François Millet^a and Jean-Emmanuel Olivier^c

^a Laboratoire de géologie des environnements aquatiques continentaux, EA 2100, université de Tours, Parc de Grandmont, 37200 Tours, France

^b Laboratoire de géochimie organique, UMR 6531, bât. Géosciences, université d'Orléans, 45067 Orléans, France – **Laboratoire intégré à l'ISTO UMR6113 – CNRS – Université d'Orléans**

^c Cemagref, Division ETNA, Maison de l'Érosion, France

Résumé

Ce travail s'appuie sur l'étude de la matière organique présente dans les sols, substratum géologique et particules fluviales, d'un bassin versant équipé par le Cemagref. L'analyse des palynofaciès confirme la contribution significative de matière organique fossile dans les cours d'eau actuels. La pyrolyse Rock-Eval permet de discriminer les formations géologiques alimentant, soit les charges de fond, soit les matières en suspension, et de préciser leur mode d'érosion. Ainsi, la matière organique, traditionnellement étudiée pour la reconstitution des environnements passés, autorise en outre la caractérisation des formations géologiques érodées et des processus érosifs les ayant affectées.

Abstract

The present study is based on the optical (palynofacies) and geochemical (pyrolyse Rock-Eval) characterization of the organic matter occurring both in bedrock, soils, river sediments (suspended matter and bedload) in a Draix Erosional Research Basin (Cemagref). Results confirm firstly the contribution of reworked organic matter in modern fluxes. Numerous previous studies have shown that organic matter analysis can be an accurate tool to provide information concerning past climates and past environments. Present results suggests that such analysis can also give information concerning the characterization of eroded bedrocks and of erosional processes such as river bank erosion and runoff.

Mots-clé: organic matter; soils; suspended matter; bedload; experimental catchments of Draix; erosional processes; France

Mots-clé: matière organique; sols; matières en suspension; charges de fond; bassins versants expérimentaux de Draix; érosion; France

1. Introduction

L'étude de la matière organique (MO) dans les géosystèmes continentaux a fait l'objet ces dernières années d'un réel essor, tant pour l'apport qu'elle procure pour la description des climats et environnements passés [5, 7 and 15], que pour son importance dans la compréhension du cycle du carbone [2, 8 and 10]. Des travaux récents ont, par ailleurs, pu montrer que les stocks de MO présents dans les sols actuels [8] ou véhiculés dans les cours d'eau [7] contenaient une part de MO issue de la production végétale actuelle, mais aussi une part de MO fossile, liée à l'altération des formations géologiques.

Par la distinction de ces deux types de sources carbonées, le présent travail vise à élargir le champ désormais classique d'application de l'étude de la MO des sédiments à la reconstitution des paléo-climats et/ou des paléo-environnements, à la compréhension des processus érosifs affectant les bassins versants actuels (ruissellement, érosion régressive) et la discrimination des roches effectivement érodées sur ces mêmes bassins versants.

Il s'appuie sur l'étude par pyrolyse Rock-Eval et l'étude des palynofaciès de la MO présente dans tous les compartiments (sols, substratum géologique et sédiments de ruisseau) d'un bassin versant expérimental situé dans les terres noires du Sud-Est de la France : le bassin du Moulin (Draix).

2. Secteur étudié et échantillonnage

Les bassins expérimentaux de Draix, représentatifs d'une surface de 2 100 km² [3], ont été sélectionnés pour l'étude des processus érosifs en montagne [14]. Ils ont été équipés par le Cemagref d'installations permettant le prélèvement et la quantification des charges fluviales solides depuis une quinzaine d'années [13]. Le bassin étudié dans le cadre de ce travail est le bassin du Moulin, caractérisé par une faible surface (0,08 km²) et un taux de dénudation atteignant 54 % [4]. Le substratum géologique est constitué principalement (figure 1) de marnes callovo-oxfordiennes très érodables [12], sur lesquelles repose, de façon ponctuelle et discordante, une formation colluviale à matrice beige claire, emballant des blocs calcaires décimétriques, mise en place au Pléistocène ou à l'Holocène [1]. Notons que les marnes développent à leurs affleurements des reliefs de pentes fortes ; elles sont recouvertes sur les replats sommitaux par la formation colluviale à relief doux (pente faible) (figure 1). Dans le bassin étudié, le couvert végétal et les sols associés étudiés sont, pour une large part, situés sur la formation colluviale et semblent la stabiliser.

Les relations étroites existant entre sols et couvert végétal [9] ont motivé l'échantillonnage de 13 humus situés sous prairies, chênes et résineux (figure 1). Au sein de chacun de ces humus, les prélèvements ont été effectués sur les horizons suivants : OL, litière à débris de végétaux identifiables ; OF, horizon organique à structure fibreuse et à débris de végétaux identifiables ; OH, horizon organique à structure originelle modifiée ou détruite, sans débris de végétaux identifiables ; A1: horizon mixte contenant de la MO et de la matière minérale, sans débris de végétaux identifiables. Concernant le substratum géologique, l'échantillonnage s'est traduit par 18 prélèvements pour les marnes et s'est limité à trois prélèvements pour les colluvions quaternaires, en raison de leur caractère homogène sur le secteur étudié. Nous avons ajouté à l'ensemble trois échantillons de charges de fond (CF) piégées dans des fosses à sédiments prévues à cet effet et prélevé trois échantillons de matières en suspension (MES) en juin 1998, à l'aide d'un préleveur automatique.

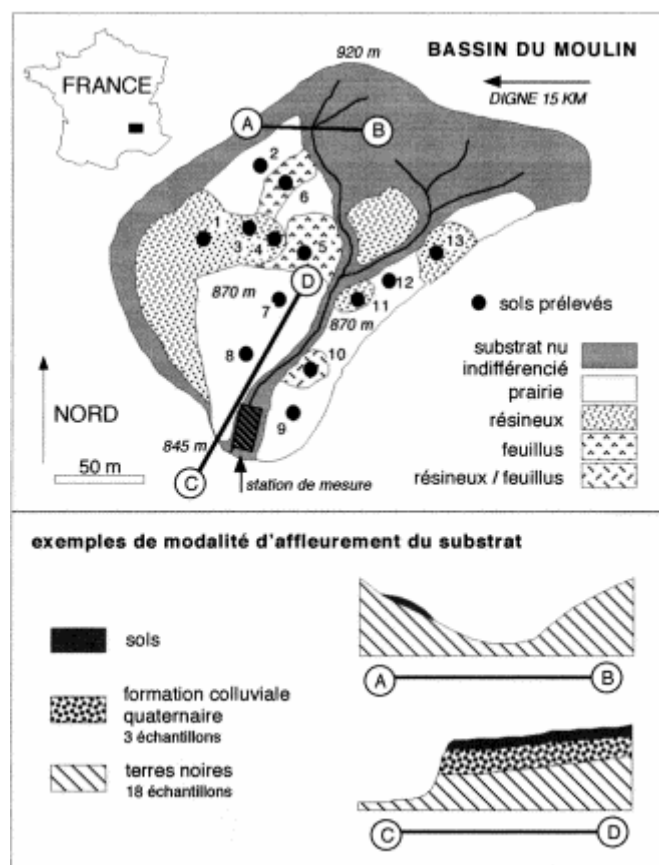


Figure 1. Situation du bassin du Moulin (Draix) et position des sols étudiés. Studied soils and location of Moulin basin, Draix.

3. Méthodes

La pyrolyse Rock–Eval est une technique d’étude des sédiments et roches sédimentaires qui permet de caractériser la MO qu’ils renferment grâce à trois paramètres majeurs [11] : la teneur en carbone organique (COT en %), la température maximale de pyrolyse (T_{\max} en °C) et l’index d’hydrogène (IH en $\text{mg hydrocarbures} \cdot \text{g}^{-1}$ COT). L’analyse optique dite des palynofaciès s’effectue après une série d’attaques chimiques acides (HCl–HF), qui dissout la matrice minérale et permet d’obtenir un concentré organique résiduel, composé de particules aisément observables en microscopie en lumière transmise, répartis en diverses classes en fonction à la fois de leur forme, de leur couleur, de leur contour et de leur nature [6].

4. Résultats

4.1. Palynofaciès des échantillons étudiés

Treize types organiques ont été distingués parmi les échantillons étudiés. Nous remarquons (figure 2) une très forte variabilité des palynofaciès rencontrés dans les sols. Concernant les horizons OL, les pourcentages de débris ligno-cellulosiques, fraction la plus représentée, sont maximum dans le sol 12 (78%) et minimum dans le sol 8 (6%). Viennent ensuite la MO

amorphe orangée (jusqu'à 49%, sol 11) et les filaments mycéliens (jusqu'à 20%, sol 9). Il ne se dégage cependant pas de tendances claires pour les autres fractions organiques.

Les palynofaciès des horizons OF–OH semblent, pour une large part, représentés par de la MO amorphe orangée (de 5 %, sol 2, à 46 %, sol 11) et des fragments ligno-cellulosiques (maximum 36 %, sol 6; minimum 0%, sol 4). S'y ajoute parfois une forte composante de MO amorphe marron (maximum 49 %, sol 11).

Les horizons A1 se caractérisent par une large dominance de la MO floconneuse beige (de 43 %, sol 9, à 92 %, sol 2), ainsi qu'une apparition significative de débris anguleux opaques pouvant atteindre 24 % (sol 11). Concernant les formations géologiques, marnes callovo-oxfordiennes et formation colluviale quaternaire contiennent essentiellement de la MO floconneuse beige (de 43 %, échantillon 16, à 97 %, échantillon 10), associée à la présence de débris anguleux opaques (maximum 30 %, échantillon 16 ; minimum 4 %, échantillon 10).

Concernant les particules fluviales (MES, CF), nous observons, là aussi, une très forte dominance de la MO floconneuse beige (de 65%, échantillon CF1, à 87 %, échantillon MES2). Dans le détail, les MES se distinguent des CF par la présence conjointe de débris anguleux opaques et MO amorphe marron, alors que les CF contiennent des débris anguleux opaques gélifiés ou non (jusqu'à 35 %, échantillon CF1).

4.2. Analyse Rock–Eval des échantillons étudiés

L'examen de la figure 3 et du tableau montre clairement une forte disparité des teneurs et caractéristiques de la MO dans les sols étudiés. Concernant les teneurs en COT (tableau), celles-ci sont relativement importantes dans les OL (44 % pour le sol 11, sous résineux ; 9,7 % pour le sol 7, sous prairie). La valeur extrêmement basse rencontrée dans le sol 7 s'explique par la faible abondance de litière relevée sur le site et la difficulté de séparer efficacement, au moment du prélèvement, la litière de l'horizon A1 sous-jacent. Les teneurs en COT diminuent, de façon sensible, avec la profondeur et oscillent entre 1 et 2 % dans les horizons A1. Nous remarquons, par ailleurs (figure 3), des valeurs d'IH particulièrement élevées (de 358 à 578 mg HC·g⁻¹ COT), associées à des T_{\max} faibles (291–332 °C) dans les OL. Les horizons OF–OH sont essentiellement caractérisés par une diminution des IH (de 274 à 437 mg HC·g⁻¹ COT), avec une valeur minimale particulière de 33 mg HC·g⁻¹ COT. Cette diminution se précise dans les horizons A1 (minimum : 71, maximum : 253 mg HC·g⁻¹ COT) et s'accompagne d'une augmentation significative des valeurs de T_{\max} (> 395 °C). Les teneurs en COT des diverses formations du substratum géologiques apparaissent (tableau) généralement faibles (de 0,3 à 0,9 %). La MO contenue dans la formation quaternaire est (figure 3) caractérisée par des IH faibles (< 103 mg HC·g⁻¹ COT) et des T_{\max} oscillant entre 381 et 473 °C. La MO des terres noires présente des IH extrêmement faibles (< 42 mg HC·g⁻¹ COT) associés à des T_{\max} relativement variables (de 366 à 609 °C), avec, cependant, une large représentation aux alentours de 600 °C. Des valeurs sensiblement équivalentes sont observées pour les échantillons de charge de fond (figure 3) : T_{\max} élevés (581 à 604 °C) et IH extrêmement faibles (< 33 mg HC·g⁻¹ COT). Un constat un peu différent peut être fait pour les échantillons de MES. En effet, si les IH sont là aussi faibles (< 62 mg HC·g⁻¹ COT), on remarque des valeurs moyennes de T_{\max} avoisinant les 400 °C. Pour les deux séries d'échantillons (tableau), les teneurs en COT sont faibles (de l'ordre de 0,6 %).

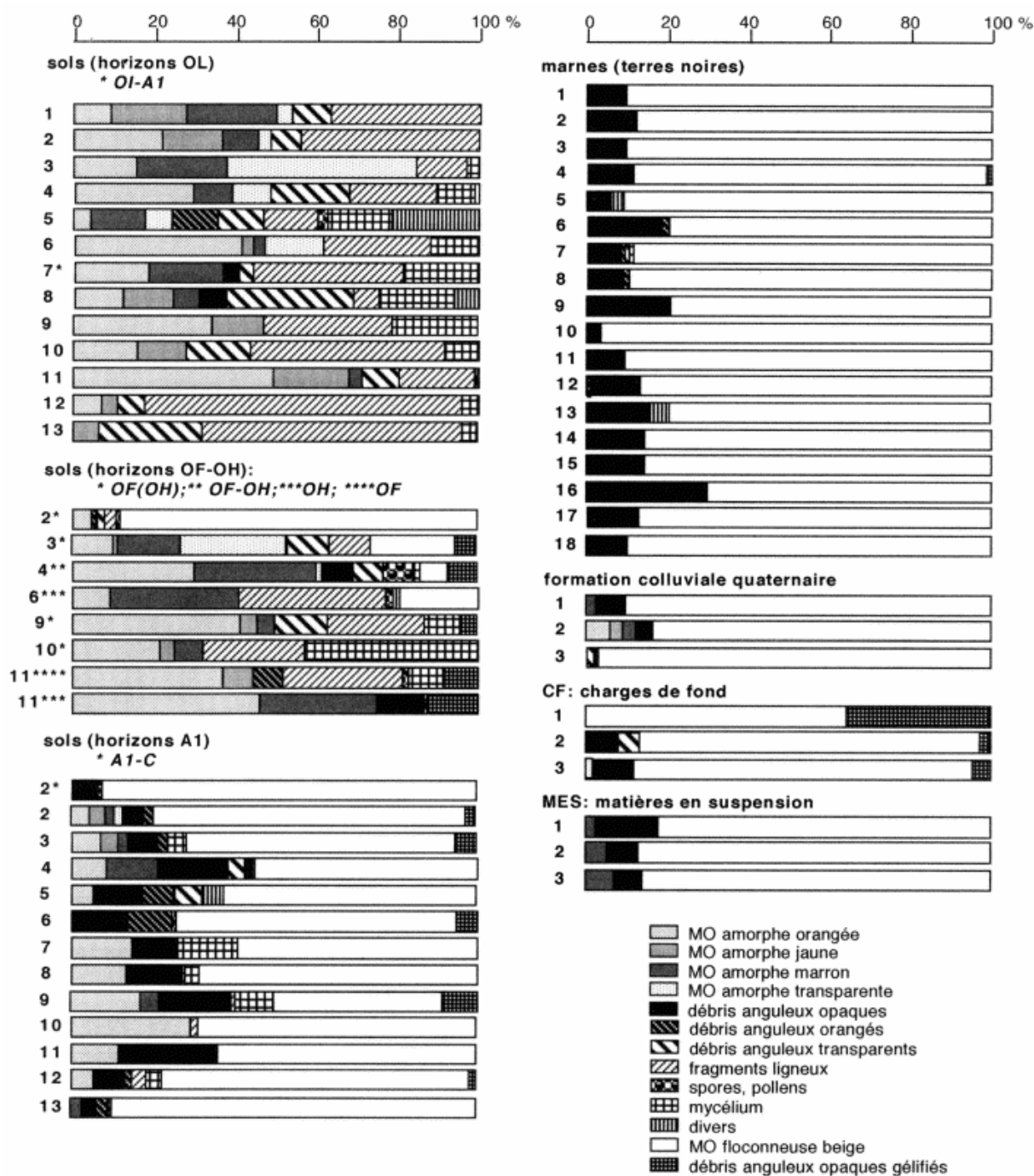


Figure 2. Palynofaciès de la matière organique des sols, formations géologiques et particules fluviales (charges de fond et matières en suspension) du bassin du Moulin. OL, OH, OF, A1 : voir *tableau*. Organic palynofacies of soil layers, geological formations, fluvial load (suspended matter, bedload) in Moulin watershed. OL, OH, OF, A1: see *table*.

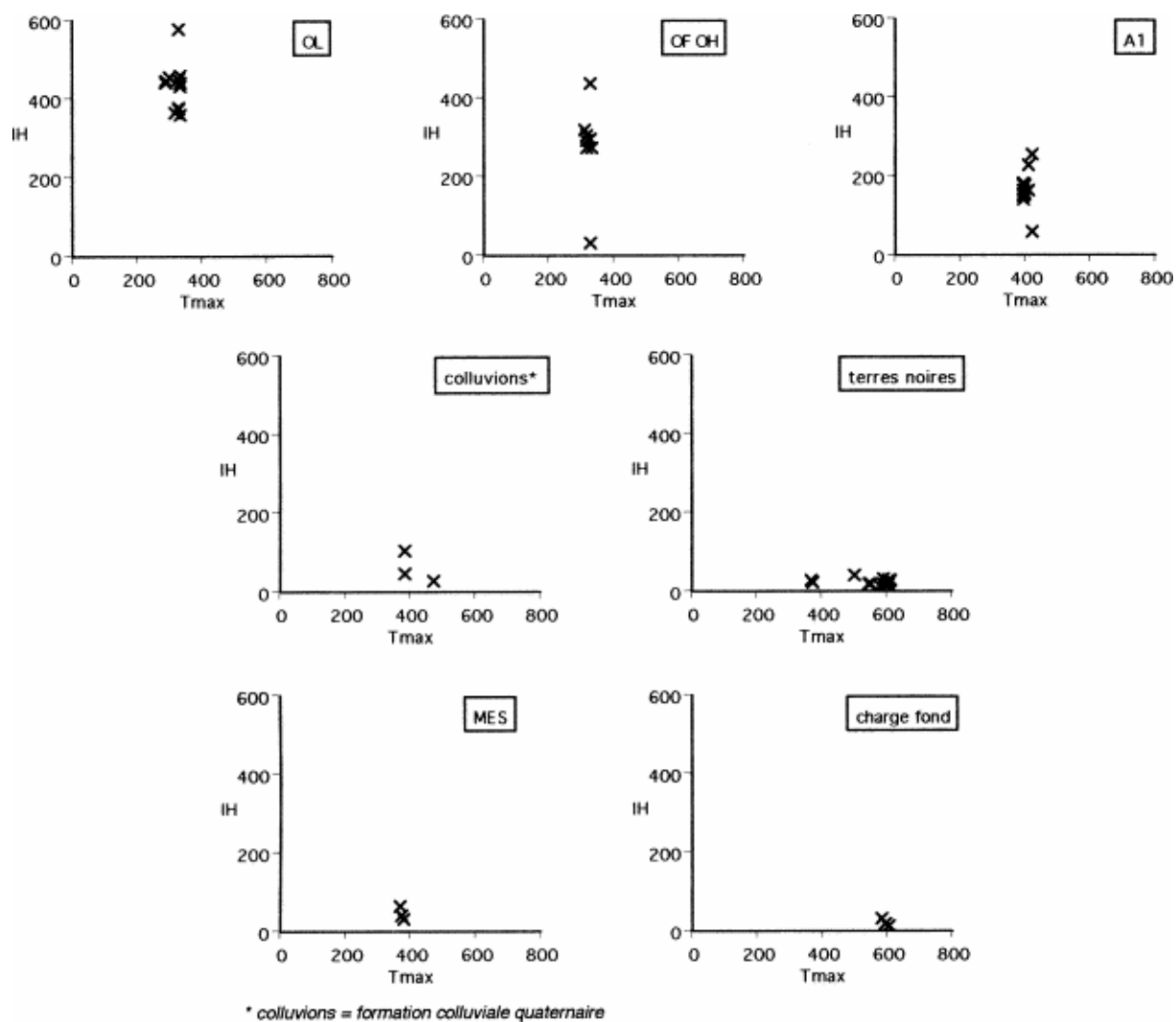


Figure 3. Index d'hydrogène (IH) et température maximale (T_{max}) de la matière organique des sols, formations géologiques et particules fluviales (charges de fond et matières en suspension) du bassin du Moulin. IH : index d'hydrogène en $\text{mg HC} \cdot \text{g}^{-1} \text{COT}$, T_{max} : température maximale en $^{\circ}\text{C}$. OL, OH, OF, A1 : voir *tableau*.

Hydrogen index and maximal temperature of the organic matter occurring in soils layers, geological formations, fluvial load (suspended matter, bedload) in Moulin watershed. IH: hydrogen index ($\text{mg HC} \cdot \text{g}^{-1} \text{COT}$), T_{max} : maximal temperature ($^{\circ}\text{C}$) OL, OH, OF, A1: see *table*.

soils	horizons	COT (%)
1	OL	20,1
	A1	1,35
2	OL	29
	OH-OF	11,6
	A1	1,6
	A1-C	0,7
3	OL	29,2
	OH-OF	10,2
	A1	1,9
4	OL	29,7
	OH-OF	7
	A1	0,4
5	OL	35,3
	A1	1,7
	lichen	32,6
6	OL	15,5
	OH	8,33
	A1	1,2
7	OL-A1	9,5
	A1	1,4
8	OL	16,2
	A1	1,6
9	OL	27,1
	OH-OF	12,6
	A1	4,9
10	OL	27,1
	OH	6,2
	A1	1,7
11	OL	43,9
	OF	28,9
	OH	21,3
12	A1	2,2
	OL	20,8
	A1	3,6
13	OL	18,1
	A1	1,3

substrat	échantillons	COT (%)
terres noires	1	0,5
	2	0,4
	3	0,3
	4	0,6
	5	0,4
	6	0,9
	7	0,8
	8	0,7
	9	0,8
	10	0,5
	11	0,5
	12	0,6
	13	0,6
	14	0,6
	15	0,7
	16	0,8
	17	0,6
	18	0,4
colluvions	1	0,4
	2	0,3
	3	0,5

charge fond	échantillons	COT (%)
	1	0,6
	2	0,6
	3	0,6

MES	échantillons	COT (%)
	1	0,6
	2	0,7
	3	0,6

MES = matières en suspension
COT = carbone organique total
colluvions = formation colluviale quaternaire

Tableau. Teneur en carbone organique des sols, formations géologiques et particules fluviales (charges de fond et matières en suspension) du bassin du Moulin. **OL** : litière à débris de végétaux identifiables ; **OF** : horizon organique à structure fibreuse à débris de végétaux identifiables ; **OH** : horizon organique à structure originelle modifiée ou détruite sans débris de végétaux identifiables ; **A1** : horizon mixte à matière organique et minérale sans débris de végétaux identifiables. - Organic content of soils layers, geological formations, fluvial load (suspended matter, bedload) in Moulin watershed. **OL**: litter made of twigs and leaves weakly fragmented; **OF**: leaf fragments and organic fecal pellets resulting from the decomposition activity of the soil mesofauna; **OH**: fecal pellets; **A1**: horizon where organic matter is associated with the mineral fraction.

5. Discussion

L'examen des palynofaciès de la MO présente dans les MES et les CF souligne une grande ressemblance entre cette MO et celle du substratum géologique (figure 3). Les fractions organiques sont, en effet, principalement représentées par de la MO floconneuse beige. Les paramètres de pyrolyse confirment cette observation : les teneurs en COT et les valeurs de IH des particules fluviales et des formations géologiques sont du même ordre de grandeur (*tableau*). Nous pouvons dès lors envisager que la MO contenue dans les MES et CF actuelles analysées provient essentiellement du substratum géologique. Nous remarquons, de plus, que la signature par pyrolyse Rock-Eval des MES prélevées diffère sensiblement de celle des CF. Ceci est particulièrement vrai pour les valeurs de T_{max} (MES -400 °C, CF -600 °C). Il est d'ailleurs remarquable de noter (figure 3) la nette similitude optique entre la MO organique

des MES et la formation colluviale quaternaire, d'une part, et la MO des CF avec la MO des terres noires, d'autre part. Ces premiers résultats suggèrent que les MES échantillonnées sont principalement approvisionnées par la formation colluviale quaternaire et les CF par les terres noires.

L'examen de la figure 1 et, plus particulièrement, la position morphologique des deux formations géologiques considérées dans le bassin du Moulin nous autorisent à envisager une première hypothèse. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les terres noires développent des affleurements à pentes fortes, au contraire de la formation colluviale, qui produit un relief à pente faible. Il est donc possible d'admettre que les pentes fortes marneuses sont soumises à une forte érosion régressive qui alimente le cours d'eau en CF, alors que la formation colluviale serait plutôt sujette à un ruissellement de surface nourrissant ce même cours d'eau en MES. Cependant, la formation colluviale quaternaire est recouverte de sols où co-existent MO fossile et MO récente (figure 2). Un ruissellement de surface érodant ces sols alimenterait les MES en un mélange de MO fossile et récente. Nous observons le contraire (figure 2), et ce point suggère une incorporation directe de MO issue de la formation colluviale dans les eaux. Une seconde hypothèse peut consister à penser que les deux formations sont soumises à une érosion régressive et que leur discrimination serait liée à leur nature lithologique : les terres noires sont compactes et se délitent en plaquettes pouvant alimenter les CF ; la formation colluviale à structure particulaire produirait des particules fines se dispersant dans les eaux (MES).

La faible quantité d'échantillons de MES et CF prélevés jusqu'à présent nous interdit, bien évidemment, de généraliser nos observations et interprétations à la description des mécanismes liant, dans le bassin du Moulin, MES, CF et substratum géologique à une échelle de temps annuelle, et encore moins pluri-annuelle. Elle permet cependant de montrer que l'étude de la MO autorise la caractérisation des formations géologiques érodées sur les bassins versants et une réflexion concernant les divers processus érosifs pouvant affecter ces mêmes bassins versants.

6. Conclusions

L'étude par pyrolyse Rock-Eval et palynofaciès de la MO présente dans tous les compartiments (sols, substratum géologique et sédiments) d'un bassin versant expérimental, équipé par le Cemagref pour l'étude des phénomènes d'érosion, souligne la complémentarité des techniques d'analyse de la matière organique qui permettent de discriminer l'origine de la MO véhiculée dans les particules fluviales drainant le bassin du Moulin. L'analyse optique montre que l'essentiel de la MO contenue dans les MES et les CF prélevées provient des formations géologiques actuelles et confirme la contribution significative de la MO fossile dans les cours d'eau actuels. L'analyse géochimique ajoute que les CF sont principalement alimentées par les terres noires, les MES par les formations colluviales sus-jacentes. Ainsi l'étude de la matière organique, traditionnellement employée pour la reconstitution des climats et environnements passés, peut s'avérer performante pour la caractérisation des formations géologiques érodées et des processus érosifs ayant affecté les bassins versants (érosion régressive, ruissellement).

Remerciements

Ces travaux ont été effectués dans le cadre du GIS « bassins de Draix, mesure de l'érosion en montagne ». Les auteurs remercient Didier Richard et Nicolle Mathys (Cemagref, Grenoble), initiateurs du Gis. Ils y associent Bernard Guillet (ISTO) pour ses remarques constructives.

Bibliographie

1. J.-L. Ballais, Apparition et évolution de roubines à Draix. In: Cemagref, Editor, Actes du colloque *Les bassins expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne*, Digne (1999), pp. 235–245.
2. N.H. Batjes, Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* **47** (1996), pp. 151–163.
3. S. Brochot, Les bassins versants de Draix, expérimentaux et représentatifs. In: Cemagref, Editor, Actes du colloque *Les bassins expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne*, Digne (1999), pp. 223–234.
4. S. Brochot and M. Meunier, Érosion de *badlands* dans les Alpes du Sud. Synthèse. In: Meunier, Editor, *Compte rendu de recherches n°3 BVRE de Draix. Études du Cemagref* « Équipement pour l'eau et l'environnement » **21** (1995), pp. 141–174.
5. N. Buillit, E. Lallier-Verges, J.-R. Disnar and J.-L. Loiseau, Changements climatiques et effets anthropiques au cours du dernier millénaire attesté par l'analyse pétrographique de la matière organique (Annecy, Le petit Lac, France). *Bull. Soc. géol. France* **168** 5 (1997), pp. 573–584.
6. A. Combaz, Les kérogènes vus au microscope. In: B Durand, Editor, *Kerogen. Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks*, Technip, Paris (1980), pp. 55–112.
7. C. Di-Giovanni, P. Bertrand, M. Campy and J.-R. Disnar, Contribution de matière organique méso-cénozoïque dans un flux organique terrigène tardi et post-glaciaire (bassin de Chaillexon, Doubs, France). *Bull. Soc. géol. France* **168** 1 (1997), pp. 83–92.
8. C. Di-Giovanni, J.-R. Disnar, M. Campy and J.-J. Macaire, Variability of the ancient organic supply in modern humus. *Analisis* **27** 5 (1999), pp. 398–402.
9. P. Duchaufour, Pédogenèse et classification, 1^{re} édition. , Masson, Paris (1977).
10. J. Espitalié, G. Deroo and F. Marquis, La pyrolyse Rock-Eval et ses applications, 1^{re} partie. *Rev. IFP* **40** 5 (1985), pp. 563–579.
11. H. Eswaran, E. Van Den Berg and P. Reich, Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **57** (1993), pp. 192–194.
12. M. Lecompte, R. Lhenaff and A. Marre, Huit ans de mesures du rainnement des marnes dans les Baronnies méridionales (Préalpes françaises du Sud). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* **4** (1998), pp. 351–374.

13. J.-E. Olivier and M. Juge, Matériel en suspension : préleveur d'échantillon et capteur de pression différentielle. Test et étalonnage en canal. In: Meunierf, Editor, *Compte rendu de recherches n°3 BVRE de Draix, Études du Cemagref* « Équipement pour l'eau et l'environnement » **21** (1995), pp. 43–61.
14. D. Richard and N. Mathys, Historique, contexte technique et scientifique des BVRE de Draix. Caractéristiques, données disponibles et principaux résultats acquis au cours de dix ans de suivi. In: Cemagref, Editor, Actes du colloque *Les bassins expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne*, Digne (1999), pp. 11–28.
15. A. Sifeddine, P. Bertrand, M. Fournier, L. Martin, M. Servant, F. Soubiès, K. Siguio and B. Turcq, La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajas, Amazonie orientale, Brésil) : relation avec les changements climatiques au cours des 60 000 dernières années. *Bull. Soc. géol. France* **165** 6 (1994), pp. 613–621.

Abridged version

1. Introduction

Because of its relevance in both palaeoclimatic reconstructions and Global Carbon Cycle understanding, modern organic matter (OM) occurring in terrestrial environments (soils, rivers, recent sediments) has been the subject of a considerable amount of work [2, 5, 7, 8, 11 and 15]. Environmental problematics also deal with questions concerning the characterization and the rate of erosional processes on continental areas. The aim of this paper is to determine if the OM study, that can provide accurate information on past climates and past environments, can give information concerning such questions. It is based on the study of the OM occurring in geological substratum, soils, river sediments (bed load and suspended matter) in one of the Draix Erosional Research Basins equipped and studied by Cemagref.

2. Study area and material

Located in the Alpes-de-Haute-Provence (France), the Moulin drainage basin is mainly developed (figure 1) into highly unstable Callovian and Oxfordian marls [12] and colluvial formations dated from the Pleistocene [1]. It has been the subject of numerous studies concerning erosional processes [3, 13 and 14]. The vegetal cover, mainly composed of coniferous, deciduous and meadow species, is poorly developed and does not exceed 46 % of the watershed area [4]. Soil sampling was performed considering that vegetation plays a major role in controlling soil formation and evolution [9]. The 13 studied humus layers were divided into three sublayers: OL at the top which is the litter made of weakly fragmented twigs and leaves; OF composed of leaf fragments and organic fecal pellets resulting from the decomposition activity of the soil mesofauna and OH, the basal layer, made up of fecal pellets exclusively. Underneath lies the A1 horizon where OM is associated with the mineral fraction. We also studied 21 geological samples originating from Callovian-Oxfordian marls and Quaternary colluvial formations and 6 fluvial samples (bedload and suspended matter obtained in June 1998).

3. Methods

Rock-Eval pyrolysis [11] is a petroleum exploration technique suitable for the study of samples with a thermal diagenetic history. In addition to the classical total organic carbon content (TOC %), the apparatus provides two specific parameters [11]: the hydrogen index (HI mg hydrocarbons·g⁻¹ total organic carbon) and the 'maximum pyrolysis temperature' (T_{max} °C). Palynofacies assessment is a current light microscope analysis that involves the observation of organic concentrates obtained by the destruction of the mineral matrix after acid treatment. The composition of the OM is appreciated on the residual concentrate by estimating the relative abundance of organic components that are defined by their shape, their colour and their transparency [6].

4. Results and discussion

The analysis of the soil OM (figure 3; *table*) gives evidence of the large variability of the Rock-Eval pyrolysis parameters values in terrestrial environments. In addition to TOC values

which vary from 44 % in OL layers to 0.4 % in A1 ones, IH values can reach 578 mg HC·g⁻¹ TOC in OL layers and frequently display lower values in A1 and OH–OF layers. The comparison of the palynofacies and Rock–Eval pyrolysis data (figures 2 and 3) obtained for all the studied samples strongly suggests that the OM occurring in modern bedload and suspended matter sampled in the Moulin basin mainly originates from geological formations. This assumption is supported by correspondingly low IH and COT values, and the dominance of beige fleecy OM particles (*MO floconneuse beige*) in the palynofacies preparations. Considering Tmax values (figure 3) the bedload OM appears similar to that of the marls, while the suspended OM is similar to that of the Quaternary colluvial formation. If one also considers that, in the study area, marls form steep slopes and colluvial formations gently sloping platforms (figure 1), it can be suggested that the main erosional processes affecting those formations can be river bank erosion (marls) and runoff (colluvial formation). However, the fact that the OM occurring in suspended matter is the same as the one observed in the colluvial formation and differs from the one observed in soils overlying this formation makes us consider that the colluvial formation is, like marls, subject to river-bank erosion and directly supplies the suspended load. The colluvial formation can produce small particles that mainly constitute suspended matter instead of compact marls that provide plates supplying bed load. Due to the limited number of studied fluvial samples from the Moulin basin we cannot affirm that suspended matter mainly originates from colluvial formations and bedload from marls on an annual scale, however we have demonstrated that OM study can be an accurate tool for discriminating between various erosional processes under the necessary condition that the characteristics of the OM occurring in the whole watershed (soils, geological formations) are known.

5. Conclusion

The present study allows us to make two remarks:

- the characterization of the suspended matter and bedload OM and the comparison of these observations with those concerning the OM occurring in the geological formations of the studied area gives evidence that the contribution of reworked OM in modern detrital fluxes can be significant in marly basins;
- OM analysis can also provide information concerning the characterization of eroded geological formations and of erosional processes such as river bank erosion or runoff. In the case of Moulin Basin, the studied bedload OM mainly originates from the river bank erosion of marls while the studied suspended matter could derive from the river bank erosion affecting recent colluvial formations. Such information can also be useful for reconstructing past climates and past environments.